

Reifen / Reifen-Boden-Interaktion

Stefan Böttinger

Kurzfassung

Unterschiedliche Reifentypen wurden in mehreren Tests miteinander verglichen. Der Einsatz von Raupenlaufwerken wird weiterhin stark diskutiert. Reifendruck-Regelanlagen finden in der Praxis zunehmend Verbreitung, da immer mehr Hersteller integrierte Lösungen anbieten. Bodendruck und Befahrbarkeit werden in der Forschung verstärkt mit Hilfe von Simulationsmodellen bearbeitet.

Schlüsselwörter

Traktorreifen, Raupenlaufwerk, Reifendruckregelanlagen, Traktion, Reifenmodell, Bodenmodell

Tyre / Tyre-Soil-Interaction

Stefan Böttinger

Abstract

Different types of tires were compared with one another in several tests. The use of crawler tracks continues to be a hot topic. Tire pressure regulating systems are becoming increasingly popular in practice as more and more manufacturers are offering integrated solutions. In research, soil pressure and drivability are increasingly being processed with the help of simulation models.

Keywords

Tractor tyres, rubber tracks, pressure control systems, traction, tyre modelling, soil modelling

Markt

Reifenhersteller ergänzen ihr Produktangebot durch neu konstruierte Reifen und durch weitere Modelle mit VF-Technologie. Alliance bietet mit dem Agri Star II einen Traktionsreifen, dessen Stollen aus zwei Lagen mit unterschiedlicher Geometrie bestehen, **Bild 1**. Nach der Abnutzung der ersten Lage soll die untere Schicht mit breiteren und stärker gekrümmten Stollen und dadurch vergrößerter Kontaktfläche die verringerte Profiltiefe ausgleichen und weiterhin gute Traktion gewährleisten [1]. Continental führt in seinem erweiterten Angebot an Mähdrescherreifen für zyklische Belastung auch für einige Größen die VF-Technologie ein. Damit können Transporte mit hohen Geschwindigkeiten auch mit geringem Reifeninnendruck durchgeführt werden [2].



Bild 1: Alliance Agri Star II mit zweilagigem Stollenprofil (Foto: Alliance)

Figure 1: Alliance Agri Star II with two-layer cleat profil (Photo: Alliance)

Reifen mit Hybridprofil für den Straßen- und den Feldeinsatz sowie Reifen mit für den Straßeneinsatz optimiertem Profil wurden verschiedenen Praxistests unterzogen. Der Nokian Ground King wurde mit einem Premium Agrarreifen eines anderen Herstellers direkt verglichen. Die Reifen waren auf je einem Traktor eines Lohnunternehmers bei vergleichbarem Einsatz aufgezogen. 62 % der Zeit waren die Traktoren auf Grünland, ansonsten im Straßentransport eingesetzt. Der Hybridreifen zeigte eine bessere Zugkraft bei geringerem Schlupf und einem geringeren Kraftstoffverbrauch. Beim Transport war der Verbrauch sogar um 9 % geringer. Auf Grünland war die Bodenbeanspruchung wegen des größeren Positivanteils geringer [3].

Überraschende Ergebnisse ergab der Systemvergleich dreier Reifenbauarten von Michelin, dem MachXBib mit klassischem Ackerprofil, dem RoadBib als Hybridreifen mit hohem Positivanteil und dem EvoBib mit der sogenannten 2-in-1-Technologie. Um den Vorteil des EvoBib-Reifens nutzen zu können, ist eine Reifendruck-Regelanlage (RDA) nötig. Seine breite Lauffläche verkleinert sich bei hohem Luftdruck für die Straßenfahrt. Dadurch ist der Kraftstoffverbrauch auf der Straße um fast 7 % niedriger als bei dem Ackerreifen. Allerdings konnte dessen Verbrauch mit Erhöhung des Reifendrucks auf 2,0 bar auf ähnlich geringe Werte reduziert werden. Der Hybridreifen hatte einen nochmals um 5 % geringeren Verbrauch und zeigte insgesamt auf Acker und Straße ein gutes Verhalten. Allerdings wurde bei diesem Vergleich der Verschleiß der Reifen nicht ermittelt [4].

Der Vergleich von Triebkraft-Schlupf-Messungen mit dem Ackerreifen MachXBib und mit dem 2-in-1 Reifen EvoBib zeigte bis zu 50 % höhere Zugkräfte des EvoBib bei einem Schlupf von 10 - 15 %. Erst ab Schlupfwerten von 40 % konnte das Stollenprofil des Ackerreifens seine Vorteile gegenüber der um 50 % größeren Aufstandsfläche des EvoBib-Reifens ausspielen. Bei Straßenfahrt mit angepasstem Luftdruck war der Verbrauch ähnlich. Der Ackerreifen zeigte eine stärkere Vertikaldämpfung, der EvoBib dagegen die für die Fahrsicherheit und schnellere Kurvenfahrt relevante höhere Seitensteifigkeit [5].

Detailliert wurde Trelleborgs PneuTrac mit einem Standard-Radialreifen auf demselben Traktor verglichen. Die größeren Massen der PneuTrac-Reifen wurden durch eine zusätzliche Ballastierung beim Einsatz mit dem Standardreifen ausgeglichen. Auf drei unterschiedlichen Böden konnten mit dem PneuTrac immer höhere Zugkräfte bei geringerem Schlupf erzielt werden. Zudem ist der Einfluss der Bodenart auf die Traktion bei ihm geringer. Der Laufwerkwirkungsgrad des PneuTracs war insgesamt um 7,7 % besser als beim Radialreifen [6].

Rad, Raupe, Bodendruck

Reifendruckregelanlagen setzen sich bei Maschinen und Geräten, die in witterungsbedingten oder gesetzlich vorgegebenen schmalen Zeitfenstern auf dem Feld arbeiten müssen, immer mehr durch. Es wird geschätzt, dass aktuell 10 - 15.000 Betriebe mit RDA ausgestattet sind. Die Nachfrage wird steigen, wenn weitere technische Verbesserungen und die Integration der RDA in die Maschinen erfolgen. Dies führt zu strategischen Übernahmen (Claas und R&M-Reifendruck-Regeltechnik; Michelin und PTG sowie Télэфlow) und Kooperationen (Trelleborg mit Dana). Auch Bosch Rexroth bietet eine integrierte Lösung für hydrostatischen Einzelradantrieb an. Einzelne Modelle verschiedener Traktoren- und Landmaschinenhersteller sind mit integrierten Lösungen erhältlich. Manche Auftragsvergabe zur Gülleausbringung ist an den Einsatz einer RDA gekoppelt [7].

Die jeweiligen Vor- und Nachteile für Rad- und Raupenlaufwerke in der Landwirtschaft werden in einem Beitrag detailliert diskutiert. Ausschlaggebend sind die örtlichen Bedingungen aus Bodenverhältnissen, Schlaggrößen, Anteil an Straßenfahrt usw. Die Hersteller von Raupenfahrwerken können durch besondere Kinematiken Komfort und Bodenschonung positiv beeinflussen [8].

An einem Kettenfahrwerk eines Traktors wird gezeigt, dass 2-3 mal so hohe Lastspitzen an einzelnen Stützrollen gegenüber dem mittleren Kontaktflächendruck deutlich reduziert werden können [9]. Nach einer theoretischen Analyse der Geometrien des Fahrwerks, der Schwerpunktlage, der vertikalen und horizontalen Kräfte durch das Anbaugerät und mit dem Einsinkwiderstand eines Bodens werden die Stützrollen vertikal so versetzt, dass anstatt einer geraden eine leicht elliptische Kontur des Kettenfahrwerks entsteht. Experimente bestätigen diese theoretische Annahme und es konnte die Bodenverdichtung bei diesen Einsatzverhältnissen um 15 - 25 % reduziert werden.

Forschung und Entwicklung

Die International Society for Terrain-Vehicle Systems ISTVS hat ihre Standards an aktuelle Anforderungen und Entwicklungen angepasst [10]. Dabei wurden Begriffsdefinitionen, Abkürzungen, Symbole sowie die Messgeräte zur Ermittlung von Bodenparametern aktualisiert

Experimentelle F & E

Für landwirtschaftliche Reifen ist deren Rollwiderstand auf verformbarem und, da die Fahrzeuge zunehmend Transportaufgaben übernehmen, auch auf festem Untergrund wichtig. In einem Beitrag werden die verschiedenen Messverfahren verglichen und bewertet. Der Rollwiderstand von einzelnen Reifen kann an stationären Prüfständen und mit Hilfe von Zugkrafttests auf beliebigen Untergründen ermittelt werden. Bei Ausrollversuchen wird der Rollwiderstand des gesamten Fahrzeugs bestimmt. Hierbei müssen die Massenträgheit und die Aerodynamik des Fahrzeugs sowie die Einflüsse aus dem Antriebsstrang berücksichtigt werden. Die Genauigkeit nimmt bei geringen Fahrgeschwindigkeiten ab [11].

Der Einfluss von Last, Luftdruck und Bodenfeuchte auf den Laufwerkwirkungsgrad wurde experimentell und auch mit einem Modell für Reifen und Boden bestimmt. Das vereinfachte Elastizitätsmodell für den Reifen wurde für den Reifen-Boden-Kontakt um ein Drucker-Prager-Modell für die plastische Verformung des Bodens erweitert. Der Vergleich der Prüfstands- und der Simulationsergebnisse zeigte vergleichbare Tendenzen mit für die Autoren annehmbaren Abweichungen [12].

Der Eindringwiderstand ist ein Maß für die Bodenfestigkeit. Dieser wurde für ein Feld kleinräumig kartiert und mit der Zugleistung eines Traktors verglichen. Bei geringerem Eindringwiderstand nahm der Laufwerkwirkungsgrad um bis zu 9 % ab [13].

An einem Gleiskettenfahrzeug konnte gezeigt werden, dass durch eine gezielte Gewichtsverlagerung im Teillastbereich geringere Schlupfwerte auftreten und die Bodenverdichtung reduziert wird. Die Gewichtsverlagerung wurde hier durch die Position von Arbeitselementen einer Rohrverlegeeinheit erreicht [14].

Simulation

An Nicht-Luftreifen wird schon sehr lange gearbeitet. Ein Überblick über die Historie und ein Ausblick wird in einem Beitrag gegeben [15]. Für die Ermittlung der besten Struktur und des

günstigsten Materialmix für Nicht-Luftreifen wird eine Simulationssoftware vorgestellt. Dabei wird der beste Kompromiss aus Haltbarkeit und Fahrkomfort ermittelt [16].

Am Beispiel eines einfachen starren Rades mit Stollen wurde die Anwendung einer DEM-Software (Diskrete Element Methode) erprobt und analysiert. Die Ergebnisse sind ähnlich den Ergebnissen aus Experimenten in einer Bodenrinne. Durch die Reduktion von 3D auf 2D konnten ähnliche Ergebnisse bei Reduktion der Rechenzeit um ein Drittel erreicht werden [17].

An der Virginia Tech University, Blacksburg, USA und der University of Pretoria, Südafrika wurde das Reifen-Boden-Modell HSSTM (Hybrid Soft Soil Tire Model) entwickelt. Im 1. Teil einer Publikationsreihe wurde das Reifenmodell, im 2. Teil die Kontaktdetektion und das Kontaktinterface für festen und verformbaren Boden beschrieben. Im nun erschienenen 3. Teil wird das Modell parametrisiert und validiert. Dazu ermittelt ein Optimierungsprogramm die Parameter, indem die Abweichungen zwischen Versuchsdaten und Modellergebnissen minimiert werden. Die Startparameter werden aus einer Modalanalyse ermittelt. Die Parameter der Reifen-seitenwand und die radialen Gürtelparameter werden mit Versuchsdaten aus einem quasi-statischen Stollenbelastungstest bestimmt. Die Vertikalkräfte an der Spindel und in der Reifenkontakfläche werden verwendet, um die Modellgenauigkeit in radialer Richtung zu untersuchen. Die auf einem Flachbandprüfstand ermittelten Längs- und Seitenkräfte werden verwendet, um die Parameter in diese Richtungen abzuschätzen. Die Reifenscherkraft und das Spindelmoment werden anhand experimenteller Daten zur Querdynamik validiert [18].

Für den Einsatz im Reisfeld mit schlammigem Boden wird ein festes, bogenkantenförmiges Rad vorgeschlagen und dessen Geometrie mit Hilfe von FEM untersucht. Abschließende Praxisversuche bestätigten die Eignung dieses Rades [19]. Zur Untersuchung des Einsatzes von Reifen auf feuchtem Sand wurde detailliert die Modellierung dieses Untergrundes und das Verhalten des Wassers in den Sandporen beschrieben [20].

Befahrbarkeit von Böden

Insbesondere für militärische Anwendungen ist seit langem die vorherige Bestimmung der Befahrbarkeit von Böden von Interesse. Für landwirtschaftliche Einsätze wären diese Informationen auch von Bedeutung. In den USA wird dazu der experimentell sehr aufwändig zu bestimmende Vehicle Cone Index VCI verwendet. In Großbritannien wird dagegen der Mean Maximum Pressure MMP (mittlerer Spitzenwert im Boden bei mehrfacher Überfahrt) verwendet, der ebenfalls experimentell bestimmt wird. Es werden Kriterien vorgeschlagen für die Auswahl von physikalisch-basierten Maßen für die Befahrbarkeit von Böden [21]. In einer weiteren Publikation wird für diese physikalisch-basierte Bewertung der Befahrbarkeit von Böden ein verbessertes Verfahren vorgeschlagen, bei dem Normaldruck und Scherspannungsverteilung am Kegel des Prüfkörpers für den Eindringwiderstand berücksichtigt werden. Daraus können die Druck-Einsink-Beziehungen vorhergesagt werden, die recht gut mit den gemessenen Werten korrelieren [22].

In einer anderen Untersuchung wurde für die Vorhersage von Traktion, Rollwiderstand und Einsinkung von Reifen oder Raupen ein ähnlicher Ansatz verfolgt. Die Bodenfestigkeit kann mit einem Bevameter bestimmt werden. Es ist aber nicht so transportabel wie ein Messgerät für den Eindringwiderstand. Daher wurde untersucht, wie aus diesen Messungen auf die

Druck-Einsink-Beziehung geschlossen werden kann. Es liegen aber nur wenige Untersuchungen vor, bei denen parallel beide Messverfahren eingesetzt worden sind. Deshalb müssen für diesen Ansatz weitere Untersuchungen durchgeführt werden [23].

Der Rechenaufwand für verschiedene Bodenmodelle ist hoch. Das Bodenkontaktmodell SCM wurde am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR entwickelt. Es ist nicht echtzeitfähig und kann deshalb nicht bei autonomen Fahrzeugen auf weichem Boden eingesetzt werden. Deshalb wurde ein vereinfachtes Bodenmodell entwickelt. Es basiert auf dem Ansatz von Bekker und wurde um einen dynamischen Anteil erweitert. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen des SCM, allerdings bei um den Faktor 10 reduziertem Rechenaufwand. Damit können online Fahrzeugzustände vorhergesagt werden [24]. Mit der Diskreten Element Methode DEM können auch Böden modelliert und simuliert werden. Hierbei ist der Rechenaufwand durch die vielen zu berücksichtigenden Partikel immens. Es wurden verschiedene Algorithmen des Maschinellen Lernens untersucht, um aus DEM-Simulationen Befahrbarkeitskarten zu erstellen. Damit ist nur 15 % des Rechenaufwands nötig und es werden tausende von Stunden Rechenzeit eingespart. Weitere Untersuchungen werden durchgeführt, um mit noch weniger Aufwand noch genauere Befahrbarkeitsaussagen treffen zu können [25].

Zusammenfassung

In mehreren Tests sind unterschiedliche Reifentypen (Ackerprofil, Straßenprofil, 2-1-Technologie) miteinander verglichen worden. Durch den Einsatz von Reifendruck-Regelanlagen können die Stärken dieser Reifen besser ausgenutzt werden. Die Vor- und Nachteile von Rau-penlaufwerken werden weiterhin stark diskutiert. Ihre Vorzüglichkeit hängt von den jeweiligen Einsatzbedingungen ab. Für die Ermittlung der Befahrbarkeit von Böden werden verschiedene vereinfachte Verfahren vorgeschlagen. Mit Hilfe von Simulationsmodellen kann dadurch der experimentelle Aufwand reduziert werden.

Literatur

- [1] N.N.: Alliance: Stollen im Schichtaufbau. Eilbote 68 (2020) H. 21, S. 21.
- [2] N.N.: Continental: CombineMaster-Serie wird erweitert. Eilbote 68 (2020) H. 31, S. 18.
- [3] Osthues, J.: Universität Kiel testet Nokian-Reifen Ground King. URL – https://www.profi.de/aktuell/aktuelle-meldungen/universitaet-kiel-testet-nokian-reifen-ground-king-12070076.html?utm_campaign=search&utm_source=profi&utm_medium=referral, Zugriff am 05.03.2021.
- [4] Tastowe, F.: Mit Straßenprofil auf den Acker. top agrar 49 (2020) H. 7, S. 86-89.
- [5] Wilmer, H.: Was kann der EvoBib besser? profi 32 (2020) H. 2, S. 64-67.
- [6] Mattetti, M. et al.: Tractive performance of Trelleborg PneuTrac tyres. Journal of Agricultural Engineering 51 (2020) H. 2, S. 100-106.
- [7] Haase, K.: Reifendruckregelanlage: Bodenschutz und Imagepflege. Eilbote 68 (2020) H. 13, S. 12-14.
- [8] Rudolph, W.: Konzeptvergleich Rad oder Raupe: Jenseits von Mythos und Marketing. Eilbote 68 (2020) H. 43, S. 12-15.
- [9] Mudiarišov, S. et al.: Soil compaction management: Reduce soil compaction using a chain-track tractor. Journal of Terramechanics 89 (2020), S. 1-12.
- [10] He, R. et al.: Updated Standards of the International Society for Terrain-Vehicle Systems. Journal of Terramechanics 91 (2020), S. 185-231.
- [11] Becker, C. und Els, P. S.: Motion resistance measurements on large lug tyres. Journal of Terramechanics 88 (2020), S. 17-27.
- [12] Farhadi, P. et al.: Tire and soil effects on power loss: Measurement and comparison with finite element model results. Journal of Terramechanics 92 (2020), S. 13-22.
- [13] Kim, W.-S. et al.: Traction performance evaluation of a 78-kW-class agricultural tractor using cone index map in a Korean paddy field. Journal of Terramechanics 91 (2020), S. 285-296.
- [14] Wildner, D.; Herlitzius, T. und Berg, T.: Modell zur Analyse der Auswirkungen der dynamischen Lastverlagerung auf das Traktionsverhalten einer Rohrverlegemaschine. Landtechnik 75 (2020) H. 4, S. 176-195.
- [15] Heeps, G.: Air-free future. Tire Technology International (2020) H. 4, S. 56-57.
- [16] Grant, A.: Internal Conflict. Tire Technology International (2020) H. 4, S. 44-47.
- [17] Nakanishi, R. et al.: Tractive performance analysis of a lugged wheel by open-source 3D DEM software. Journal of Terramechanics 92 (2020), S. 51-65.
- [18] Sandu, C. et al.: Hybrid soft soil tire model (HSSTM). Part III: Model parameterization and validation. Journal of Terramechanics 88 (2020), S. 1-15.
- [19] Chen, Z.; Gu, J. und Yang, X.: A novel rigid wheel for agricultural machinery applicable to paddy field with muddy soil. Journal of Terramechanics 87 (2020), S. 21-27.
- [20] El-Sayegh, Z. et al.: Modelling tire-moist terrain interaction using advanced computational techniques. Journal of Terramechanics 91 (2020), S. 23-30.

- [21] Wong, J. Y. et al.: A review of mobility metrics for next generation vehicle mobility models. *Journal of Terramechanics* 87 (2020), S. 11-20.
- [22] Hunag, W. et al.: Predicting terrain parameters for physics-based vehicle mobility models from cone index data. *Journal of Terramechanics* 88 (2020), S. 29-40.
- [23] Mason, G. L. et al.: An overview of methods to convert cone index to bevameter parameters. *Journal of Terramechanics* 87 (2020), S. 1-9.
- [24] Dallas, J. et al.: Online terrain estimation for autonomous vehicles on deformable terrains. *Journal of Terramechanics* 91 (2020), S. 11-22.
- [25] Mechergui, D. und Jayakumar, P.: Efficient generation of accurate mobility maps using machine learning algorithms. *Journal of Terramechanics* 88 (2020), S. 23-63.

Autorendaten

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger leitet das Fachgebiet Grundlagen der Agrartechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Stuttgart.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Böttinger, Stefan: Reifen / Reifen-Boden-Interaktion. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2020*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111229-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2020/chapter/reifen-boden.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.